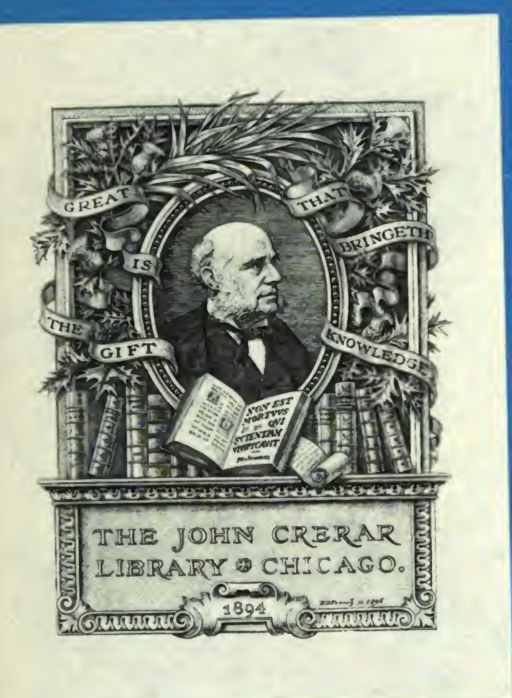
PHYSIKALISCHE HYPOTHESEN UND IHRE WANDLUNGEN: AKADEMISCHE...

Karl Friedrich Mack




GREAT
THAT
IS
BRINGETH
THE
GIFT
KNOWLEDGE
NON EST MORTVVS QVI SCIENTIAM VIVIFICAVIT
THE JOHN CRERAR LIBRARY CHICAGO.
1894

Physikalische Hypothesen und ihre Wandlungen.

Akademische Festrede
gehalten am 19. November 1904 anläßlich der Feier des 86. Stiftungsfestes der K. Württ. Landwirtschaftlichen Hochschule Hohenheim

von

Dr. Karl Mack,
o. Professor der Physik und Meteorologie.

Mit Anmerkungen und Literaturnachweisen.



LEIPZIG.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
1905.

Spamersche Buchdruckerei in Leipzig.

Hochansehnliche Versammlung!
Verehrte Damen und Herren!

An der beinahe verwirrenden Fülle von Entdeckungen, die in neuer und neuester Zeit auf dem Gebiet der Naturwissenschaften gemacht worden sind, ist die physikalische Wissenschaft in hervorragendem Maße beteiligt gewesen. Vergleichen wir den heutigen Stand der physikalischen Kenntnisse mit demjenigen vor 100 Jahren, welch ein gewaltiger Unterschied tritt uns da entgegen! Zu Anfang des 19. Jahrhunderts waren die Physiklehrbücher noch dünn und dünn gesäet, was beides heutzutage nicht mehr zutrifft; fast alle Einzelkapitel, mit alleiniger Ausnahme der Mechanik, sind seitdem zu erheblich größerem Umfang angeschwollen, ja, einzelne Kapitel, und darunter gerade die wichtigsten, sind ganz neu hinzugekommen. So fehlte z. B. vor 100 Jahren noch ganz die Lehre von den elektrischen Strömen, denn die kurz zuvor gemachten Entdeckungen Galvanis und Voltas hatten nur die allerersten Bausteine geliefert zu dem stolzen Bau, den die Lehre vom Galvanismus heute darstellt. Auch die Optik war damals ein noch sehr eng begrenztes und wenig

bearbeitetes Gebiet; die Wellenlehre des Lichts, die heute sämtliche optischen Erscheinungen einheitlich zu erklären gestattet, war damals noch nicht zur Anerkennung gelangt. Aber vom ersten Jahrzehnt des verflossenen Jahrhunderts ab häuften sich die großen Entdeckungen immer mehr; in rascher Folge wurden von Örstedt, Ohm, Ampère, Faraday die grundlegenden Eigenschaften des galvanischen Stroms festgestellt, eine Epoche des Vorwärtsstürmens, die mit Faradays Entdeckung der galvanischen Induktion im Jahr 1831 zunächst zu einem gewissen Abschluß kam. Weiter folgte, um nur die wichtigsten Errungenschaften auf der Bahn des Fortschritts hervorzuheben, im Jahre 1842 durch Julius Robert Mayer die Aufstellung des Prinzips von der Erhaltung der Energie, des bis heute unerschütterten Grund- und Ecksteins naturwissenschaftlicher Erkenntnis. Im Jahr 1859 begründeten Bunsen und Kirchhoff die Spektralanalyse, und eröffneten durch die Möglichkeit, auch die stoffliche Zusammensetzung der fernsten Himmelskörper zu ergründen, ein unermeßliches Arbeitsgebiet, von dem selbst ein Alexander v. Humboldt[1]) noch kurz zuvor geglaubt hatte, daß es dem menschlichen Forschungsgeist dauernd verschlossen sei. Einen weiteren bahnbrechenden Fortschritt bedeuteten in den 80er Jahren die Forschungen von Heinrich Hertz, der zeigte, daß die elektrischen Wirkungen im Raum

sich mit der Geschwindigkeit des Lichts ausbreiten, und daß alles Licht nichts anderes als eine elektrische Erscheinung ist. Von den hervorragenden Entdeckungen des letzten Jahrzehnts ist noch in frischer Erinnerung die der Röntgenstrahlen mit dem beinah unheimlichen Eindruck, den sie zunächst auf jedermann hervorbrachte; daß ihr Entdecker in früherer Zeit unserer Hochschule angehört und vor 29 Jahren an dieser Stelle die Festrede gehalten hat[2]), dessen dürfen wir uns heute mit Stolz erinnern. Aber so reich die Ernte der Entdeckungen ist, mit der das 19. Jahrhundert schloß, das 20. scheint es noch überbieten zu wollen. Eine Entdeckung, die neuerdings alles andere in den Hintergrund drängt, und die das höchte Interesse ebenso der Physiker wie der Chemiker wachruft, ist die Entdeckung des Radiums und der Erscheinungen der sogenannten Radioaktivität. Es scheint hier eine Pforte geöffnet zu sein, die zu neuen ungeahnten Erkenntnissen zu führen bestimmt ist, und die jetzt schon überraschende Einblicke gestattet in die tiefsten Probleme der Naturforschung. Die Entdeckung des Radiums ist aber auch noch insofern von Interesse und durchaus modernen Charakters, als sie von einer Dame, Frau Curie in Paris, gemacht worden ist, eine Tatsache, die geeignet erscheint, das neuzeitliche Streben des weiblichen Geschlechts nach umfassenderer und tieferer Bildung

und seine Berechtigung in helles Licht zu setzen.

Diese großen und bahnbrechenden Entdeckungen der letzten 100 Jahre haben nun nach zwei Richtungen weittragende Folgen gehabt. Einerseits konnte es nicht ausbleiben, daß die Enthüllung so zahlreicher, bisher unbekannter Naturvorgänge zu einer Menge von praktischen Anwendungen anregte, deren sich die Technik rasch in erfolgreicher und umfassender Weise bemächtigte. Es sei hier nur an die zahllosen Anwendungen der Elektrizität erinnert, die das moderne Leben nach vielen Richtungen wesentlich umgestaltet haben. Diese Nutzbarmachung der Entdeckungen der Wissenschaft für die Praxis wurde wiederum in wirksamster Weise gefördert durch das Eingreifen genialer Männer, die, Wissenschaft und Technik miteinander verschmelzend, die Welt mit den wertvollsten Gaben beschenkten. So verdanken wir einem Werner Siemens in der Konstruktion der ersten Dynamomaschine die Möglichkeit der elektrischen Arbeitsübertragung, durch welche heutzutage unzählige Motoren in unseren Werkstätten und Trambahnwagen in den Straßen unserer Großstädte in Bewegung gesetzt werden, und welche auch für den landwirtschaftlichen Betrieb bei geeigneter Anwendung sich in hohem Maße wertvoll erweist; so beschenkte uns ein Edison mit der elektrischen Glühlampe, die in Millionen von Exemplaren über alle Weltteile ver-

breitet ist und die unter allen bis jetzt erfundenen Beleuchtungsmitteln wohl am vollkommensten den Wunsch erfüllt, den Goethe in die Worte kleidete[8]):

„Wüßte nichts, was sie Bessres erfinden könnten,
Als daß die Lichter ohne Putzen brennten; —

so schuf Marconi, fußend auf den Entdeckungen von Heinrich Hertz, die Telegraphie ohne Draht, die für friedliche und kriegerische Zwecke sich ähnliche Bedeutung zu erringen scheint, wie ihre ältere Schwester, die gewöhnliche Telegraphie. Wenn wir uns vergegenwärtigen, wie diese Heroen der Technik mit ihren Erfindungen umfassende neue Industriezweige geschaffen haben, wie ihre Ideen in zahllosen Fabriken und Werkstätten verwertet und weitergebildet werden, wie Millionen von Menschen in den neugeschaffenen praktischen Betrieben beschäftigt sind, von den Arbeitern in den elektrischen Fabriken, den Monteuren, welche die Installationen vornehmen, den Telegraphisten und Telephonisten männlichen und weiblichen Geschlechts bis zu den Lenkern der elektrischen Trambahnwagen, so können wir uns an das Wort Schillers erinnern:

„Wenn die Könige baun, haben die Kärrner zu tun."

Aber noch nach einer anderen Richtung erwies sich die eingangs skizzierte Vermehrung des uns bekannten Tatsachenmaterials als bedeutungsvoll. Je mehr Lücken in der Erkenntnis der physikalischen

Erscheinungen sich schlossen, desto deutlicher mußten die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Tatsachengruppen hervortreten; künstliche bisher festgehaltene Grenzen mußten verschwinden, und auf unsere Grundvorstellungen von den physikalischen Vorgängen mußte neues Licht fallen.

Es sei gestattet, die Wichtigkeit dieser Folgen sogleich an einem Beispiel zu veranschaulichen. Um die Erscheinungen der Elektrizität zu erklären, nahm man seit dem Ausgang des 18. Jahrhunderts eine elektrische Materie oder ein elektrisches Fluidum an, das in zwei Modifikationen, als positiv elektrisches und als negativ elektrisches Fluidum, vorhanden sein sollte. Weiter setzte man, behufs Erklärung der magnetischen Vorgänge, ein anders geartetes magnetisches Fluidum, dieses ebenfalls in zwei Modifikationen auftretend, voraus. Elektrizität und Magnetismus waren dementsprechend damals noch völlig getrennte Gebiete. Die Erscheinungen des Elektromagnetismus waren es dann, welche die Brücke zwischen ihnen schlugen. Es gelang dem Franzosen Ampère, den Nachweis zu liefern, daß die Annahme des besondern magnetischen Fluidums überflüssig ist; er zeigte, daß sämtliche Erscheinungen des Magnetismus sich zurückführen lassen auf die Wirkungen elektrischer Ströme. Während man früher von jeder Eisenmolekel angenommen hatte, daß sie an

zwei diametral gegenüberliegenden Punkten einerseits mit einer Dosis nordmagnetischen Fluidums, andererseits mit einer ebensogroßen Dosis südmagnetischen Fluidums ausgestattet sei, stellte Ampère die Hypothese auf, daß die Eisenmolekel von einem elektrischen Kreisstrom umflossen sei und zeigte, daß sämtliche bekannten magnetischen Erscheinungen sich durch sie erklären lassen. Nach Ampère ist also aller Magnetismus als Elektromagnetismus aufzufassen; die Scheidewand zwischen Magnetismus und Elektrizität war damit gefallen, die magnetischen Vorgänge waren durchaus auf elektrische zurückgeführt. Wie viel befriedigender es aber für den menschlichen Geist ist, statt zweier verschiedener hypothetischer Fluida, eines elektrischen und eines magnetischen, mit einem einzigen, dem elektrischen auszukommen, liegt auf der Hand. Die Ökonomie der Wissenschaft — ein Begriff, den der Wiener Physiker und Philosoph Ernst Mach eingeführt hat[4]) — wird durch solche Vereinfachung aufs wirksamste gefördert.

Bezüglich jenes elektrischen Fluidums, das wir bei vorstehender Betrachtung als einziges übrig behielten, mag noch beigefügt werden, daß man bald gesucht hat, es ebenfalls über Bord zu werfen und das Wesen der Elektrizität etwa bloß in Bewegungsvorgängen zu erblicken. Gerade aus den allerneuesten Forschungen auf dem Gebiet der sogenannten

Kathodenstrahlen und der Radioaktivität geht indes mit großer Wahrscheinlichkeit hervor, daß etwas wie ein elektrisches Fluidum doch tatsächlich existiert; das elektrische Fluidum ist wiedererstanden in den sogenannten Elektronen, kleinsten Elementarquanten der Elektrizität, auf die wir im spätern Verlauf dieser Ausführungen noch zurückkommen werden.

Das mitgeteilte Beispiel läßt uns erkennen, wie die Verschmelzung bisher getrennter Wissensgebiete zugleich von einer Änderung physikalischer Grundvorstellungen begleitet ist. Die Vereinigung der magnetischen und der elektrischen Erscheinungen zu einem einheitlich begreifbaren Gebiet konnte sich erst vollziehen auf dem Grund jener Ampèreschen Hypothese, daß die Molekel einer magnetischen Substanz umflossen sei von einem kleinen elektrischen Kreisstrom.

Diese geniale Annahme des berühmten französischen Forschers ist nun eine richtige Hypothese im Sinne der Logik. Wenn unter einer Hypothese, allgemein gesprochen, die nur auf Wahrscheinlichkeit beruhende Prämisse eines logischen Schlußverfahrens verstanden wird, das die einzelnen Tatsachen der Beobachtung als notwendige Folgerungen aus der Prämisse ergibt, so erfüllt die Ampèresche Hypothese, wie wir gesehen haben, die in dieser Definition aufgestellte Forderung. Sie ist

eine nicht direkt als wahr erweisbare Grundvorstellung über die Natur des Magnetismus, aus welcher sich alle beobachtbaren magnetischen Tatsachen als notwendige Folgerungen ergeben. Ihre Brauchbarkeit wird außerdem erhöht durch die enge Beziehung, die sie zwischen den magnetischen und elektrischen Erscheinungen herstellt.

In diesem Zusammenhang ist es nun gerechtfertigt, kurz die Frage zu berühren: „Was veranlaßt uns überhaupt dazu, Hypothesen aufzustellen? warum lassen wir uns nicht vielmehr genügen an der Kenntnis der direkt beobachtbaren Tatsachen?“

Was uns zur Aufstellung von Hypothesen treibt, ist unser Wunsch, die Gründe der Erscheinungen kennen zu lernen, mit andern Worten, das Bedürfnis unseres Geistes, eine kausale, eine ursächliche Erklärung der Beobachtungstatsachen zu finden. Wir sind überzeugt, daß eine solche Erklärung möglich ist; es ist, in der Sprache der Logik ausgedrückt, ein unabweisbares Postulat unseres Erkenntnisstrebens, daß das Gegebene, das Beobachtete, notwendig sei und als nach allgemeinen Regeln aus seinen Gründen hervorgehend erkannt werden könne. Eine solche kausale Erklärung wird aber ermöglicht durch den Ausgang von einer Hypothese, die weiteres logisches Fortschreiten der Gedankenreihe gestattet in der Weise, daß die

nachfolgenden Schlußglieder zu den vorangehenden im Verhältnis von Wirkung zur Ursache stehen.[5])

Auf diesem Bedürfnis nach kausaler Erklärung, das wir kurz Kausalitätsbedürfnis nennen wollen, beruht es auch, daß beim Studium irgend eines physikalischen Vorgangs unser Geist sich nicht etwa genügen läßt an der Aufstellung einer bloß empirisch gefundenen Gesetzmäßigkeit, mit deren Hilfe sich zwar der Vorgang genau zahlenmäßig beschreiben[6]) läßt, die aber über den tiefern ursächlichen Zusammenhang nichts aussagt.

Es sei gestattet, dies wiederum an einem Beispiel näher zu erläutern. In einem Gefäß sei ein bestimmtes Quantum irgend eines Gases von bestimmter Temperatur eingeschlossen. Wir wissen, und es läßt sich auf geeignete Weise zeigen, daß das Gas einen gewissen Druck auf die Gefäßwandungen ausübt. Wenn nun die Temperatur des Gases um einige Grade erhöht wird, so bemerken wir, daß der Druck auf die Flächeneinheit der Wandung größer geworden ist. Die Gesetzmäßigkeit, nach welcher diese Druckzunahme erfolgt, kennt man genau, das Mariotte-Gaylussacsche Gesetz beschreibt die eintretenden Veränderungen vollständig; aber so wertvoll und wichtig die Aufstellung dieses Gesetzes ist, es vermittelt uns doch nur eine rein äußerliche Kenntnis des Vorgangs, es faßt bloß das direkt Beobachtbare in eine bequeme Formel zusammen,

während es über den ursächlichen Zusammenhang zwischen der Temperaturerhöhung und der Druckzunahme rein nichts aussagt; es gibt uns bloß das Wie des Geschehens, nicht das Warum. Das letztere aber ist es, zu dessen Ergründung unser Kausalitätsbedürfnis uns antreibt. Warum ist die Temperaturerhöhung imstand, eine Druckzunahme von der beobachteten Größe hervorzurufen? Die Antwort auf diese Frage gibt eine die Erscheinungen der Wärmelehre beherrschende Grundhypothese, die aussagt, daß die Wärme der Körper besteht in sehr raschen Bewegungen ihrer kleinsten für unser Auge unsichtbaren Teilchen. Bei den festen Körpern stellt man sich diese Bewegungen vor als Schwingungen der Molekeln um feste Gleichgewichtslagen, bei den flüssigen Körpern nimmt man an, daß die Molekeln sich mit großen Geschwindigkeiten durcheinanderschieben, während sie übrigens noch miteinander in Berührung sind, und die Kohäsionskräfte zwischen ihnen noch ihren Einfluß geltend machen, im gas- und dampfförmigen Aggregatzustand endlich sind die Molekeln voneinander losgelöst, sie schießen mit sehr großen Geschwindigkeiten durcheinander, und die Bewegung der einzelnen Molekel ist solange eine geradlinige, bis sie mit einer andern zusammenstößt und dadurch in eine andere Bewegungsrichtung abgelenkt wird. Man hat diese Molekularbewegung

in einem Gas schon verglichen mit den Bewegungen in einem Mückenschwarm oder mit den Kreuz- und Quersprüngen eines von Hunden verfolgten Hasen, spricht auch zuweilen vom Zickzackkurs der Molekeln.

Von dieser Molekularbewegung in allen 3 Aggregatzuständen nimmt man nun an, daß ihre Geschwindigkeit zunimmt mit wachsender Temperatur.

Diese Hypothese vom Wesen der Wärme, welche den Vorteil größter Anschaulichkeit besitzt, hat sich als eine der glücklichsten und fruchtbarsten erwiesen, die je auf dem Gebiet der Physik aufgestellt worden ist. Speziell für das Gebiet der Gase hat sie sich zu einer mathematischen Theorie ausbauen lassen, der kinetischen Theorie der Gase, die eine Menge wertvoller neuer Vorstellungen geliefert und namentlich gelehrt hat, Blicke in die Welt des unendlich Kleinen zu tun, die vom allerhöchsten Interesse sind.

Eine unmittelbare anschauliche Folge dieser Grundvorstellung vom Wesen der Wärme ist nun auch die von der Temperatur bewirkte Drucksteigerung eines Gases, von welcher wir bei dieser ganzen Betrachtung ausgegangen sind. Wenn die Molekeln des Gases mit ihren großen Geschwindigkeiten durcheinander schießen, so werden sie auf die Wandungen des Gefäßes Stöße ausüben, die trotz der

Kleinheit der Teilchen durch die große Geschwindigkeit und durch die sehr große Anzahl der stoßenden Teilchen sich bemerkbar machen müssen. Der Druck, den ein Gas auf die Gefäßwandung ausübt, ist nichts anderes als die Wirkung der die Wand treffenden Molekularstöße. Wenn nun die Temperatur erhöht wird, so bedeutet dies im Sinn unserer Hypothese eine Steigerung der durchschnittlichen Geschwindigkeit der kleinsten Teilchen, die Wucht der Stöße gegen die Wand, und ihre Häufigkeit hat zugenommen, d. h. der Druck ist größer geworden.

Man erkennt, daß die Drucksteigerung des Gases infolge der Temperaturerhöhung jetzt in einer das Kausalitätsbedürfnis befriedigenden Weise erklärt ist, und das vorgetragene Beispiel zeigt zugleich, wie das Suchen nach dem Warum der Vorgänge zur Aufstellung von Hypothesen führt.[7])

Ehe wir diese Anschauung vom Wesen der Wärme verlassen, mögen noch einige der interessantesten Ergebnisse der auf ihr aufgebauten kinetischen Theorie der Gase erwähnt werden. Zunächst ist es Clausius, einem der Begründer dieser Theorie, gelungen, aus dem auf die Gefäßwandung ausgeübten Druck die durchschnittliche Geschwindigkeit, mit der die Gasteilchen durcheinander schießen, zu berechnen. Es ergeben sich da überraschend große Werte, die übrigens für verschiedene Gase verschieden sind. Die durchschnitt-

liche Geschwindigkeit der Molekeln des Sauerstoffgases ist 460 m pro sek., für den Stickstoff ergibt sich 490 m, für den Wasserstoff gar 1840 m, alle diese Angaben gültig für die Temperatur 0°. Wenn man bedenkt, daß die zwei erstgenannten Zahlen etwa der Anfangsgeschwindigkeit einer Gewehrkugel entsprechen, während die Zahl für den Wasserstoff bei weitem dasjenige Maß von Geschwindigkeit überschreitet, das unsere Schießtechniker irgend einem Projektil mitteilen können, so erkennt man, um was für außerordentlich rasche Bewegungen es sich hier handelt.

Man darf sich indessen nicht vorstellen, daß die Gasteilchen mit diesen Geschwindigkeiten Wege von irgendwie erheblicher Länge zurücklegen; dazu sind ihrer viel zu viele, das Gedränge ist viel zu groß, so das jedes Teilchen schon nach Zurücklegung einer kurzen Wegstrecke mit einem Nachbarteilchen zusammenstößt. Dem Engländer Maxwell ist es gelungen, diese sog. mittlere Wegelänge zu berechnen, die ein Teilchen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Zusammenstößen geradlinig zurücklegt. Sie beträgt für Wasserstoff rund $\frac{1}{5000}$ eines Millimeters, für Sauerstoff und Stickstoff ungefähr je $\frac{1}{10000}$ mm. Das sind also schon fast unvorstellbar kleine Größen, und man begreift, daß, je kürzer die Weglängen sind, um so rascher die Zusammenstöße erfolgen müssen. Eine leichte Rechnung ergibt, daß

in 1 Sekunde ein Wasserstoffteilchen 10000 Millionen Zusammenstöße erfährt, ein Luftteilchen ca. 5000 Millionen. Hiemit sind wir nun natürlich ganz in das Gebiet des Unvorstellbaren eingetreten. Aber die Wunder der Molekularwelt, welche die kinetische Theorie der Gase offenbart, sind damit noch nicht erschöpft. Auch die Größe der Molekeln und ihre Anzahl in einem bestimmten Raumteil hat man berechnen können. Der Durchmesser einer Stickstoffmolekel ergibt sich kleiner als 1 Milliontel eines Millimeters, er beträgt nämlich bloß ca. $\frac{3}{10}$ dieser außerordentlich kleinen Einheit. Auch die Dimensionen der Wassermolekel sind von ähnlicher Kleinheit. Wenn wir die mittleren Wegelängen vorhin schon sehr klein fanden, so sehen wir jetzt, daß die Molekeln selbst noch viel kleiner sind; eine Stickstoffmolekel kann immerhin, ehe sie mit ihrer Nachbarin zusammenstößt, einen Weg zurücklegen, der 3—400 mal so groß ist als ihr eigener Durchmesser.

Von ganz besonderem Interesse ist endlich noch die Zahl der Molekeln eines Gases in der Volumeinheit, etwa in 1 Kubikzentimeter. Die Berechnung dieser Zahl ist dem Wiener Physiker Loschmidt in den 60er Jahren geglückt; sie heißt nach ihm die Loschmidtsche Zahl. Sie hat für Stickstoff den ungeheueren Wert von 20 Trillionen, wobei bekanntlich eine Trillion eine Million Billionen bedeutet; 20 Trillionen sind eine 20 mit 18 Nullen, das ist 4000 Mil-

lionen mal mehr als die bekannten 5 Milliarden der französisch-deutschen Kriegsentschädigung vom Jahr 1871. So viele Molekeln sind also in einem einzigen Kubikzentimeter Stickstoff bei der Temperatur 0° und dem normalen Atmosphärendruck enthalten.

Als in Wien vor einigen Jahren eine Gedächtnisfeier für Loschmidt gehalten wurde, wies der Festredner Prof. Boltzmann[8]), einer der ersten lebenden theoretischen Physiker, darauf hin, daß Loschmidts Leib nun in seine Atome zerfallen sei, und zwar seien wir aus den von ihm gewonnenen Prinzipien imstande zu berechnen, in wie viele. Damit es in einer Rede zu Ehren eines Experimental-Physikers nicht an jeder Demonstration fehle, habe er die betreffende Zahl auf einer Tafel anschreiben lassen. Es waren 10 Quadrillionen, d. h. eine 1 mit 25 Nullen. Boltzmann fügte bei, daß freilich jedes Härchen die Zahl um Billionen erhöhen würde.

Alle diese bemerkenswerten und erstaunlichen Zahlen, welche die kinetische Theorie der Gase geliefert hat, sind Folgerungen aus der vorgetragenen Grundannahme über das Wesen der Wärme, also aus einer Hypothese. Die Folgerungen sind also selbst noch hypothetisch, weil wir ja alle diese Größen und Zahlen nicht direkt zählen und messen können. Aber wir haben es hier zu tun mit einer Hypothese von größter Wahrscheinlichkeit, so daß heute kein Physiker daran zweifelt, daß diesen Zahlen

eine wichtige, reale Bedeutung zukommt. Auch haben diese Zahlen zum Teil Bestätigungen erfahren durch Überlegungen, die von ganz anderen physikalischen Erscheinungen ausgingen. Die Loschmidtsche Zahl z. B. hat sich in neuerer Zeit noch berechnen lassen nach 4 weiteren Methoden, die alle untereinander verschieden sind, und doch sehr angenähert zum selben Resultat führen[9]. —

Es sind nun in Kürze einige allgemeine Betrachtungen über die Eigenschaften der physikalischen Hypothesen anzustellen.

Wenn man von einer Hypothese sagen könnte, sie sei völlig richtig und entspreche ganz der Wahrheit, so müßte sie sämtliche möglichen Erscheinungen erklären, die überhaupt in das betreffende Gebiet fallen. Von diesen sämtlichen möglichen Erscheinungen wird uns im allgemeinen nur ein Teil bekannt sein, der Rest unbekannt. Wenn eine Hypothese den uns bekannten Teil der Erscheinungen erklärt, so ist sie möglich und bis auf weiteres brauchbar. Mit Bezug auf den uns noch unbekannten Rest von Erscheinungen sind folgende Fälle denkbar. Erstens kann durch Zufall eine dieser bis dahin unbekannten Erscheinungen neu entdeckt werden, sie wird dann entweder mit der bisher benützten Hypothese in Übereinstimmung stehen oder nicht. Ist ersteres der Fall, läßt sich also die neue Tatsache ebenfalls aus der Hypothese

erklären, dann bleibt die Hypothese bis auf weiteres richtig, sie hat eine Bestätigung erfahren, ihre Wahrscheinlichkeit hat zugenommen. Wenn dagegen die neue Tatsache im Widerspruch mit der Hypothese steht, wenn mit anderen Worten die Folgerungen aus der Hypothese mit der tatsächlich beobachteten Erscheinung sich nicht decken, so beweist dies, daß in der Hypothese irgend etwas Falsches enthalten ist; sie ist damit unbrauchbar geworden, selbst wenn sie alle anderen bis dahin bekannten, in das betreffende Gebiet fallenden Erscheinungen in einer das Kausalitätsbedürfnis befriedigenden Weise zu erklären vermochte. Es besteht aber auch die weitere Möglichkeit, daß aus einer Hypothese auf rein theoretischem Weg irgend ein Satz abgeleitet wird, der aussagt, daß eine bestimmte, bis dahin unbekannte Erscheinung möglich sei und unter den gemachten Voraussetzungen zutreffen müsse. Läßt sich nun diese Erscheinung wirklich beobachten, tritt sie tatsächlich ein, dann hat die Hypothese zur Entdeckung einer neuen Tatsache geführt; auch in diesem Falle ist die Hypothese bestätigt und ihre Wahrscheinlichkeit ist gewachsen. Die Hypothese hat dann bewiesen, daß sie heuristischen Wert besitzt, daß sie zur Auffindung neuer Erscheinungen dienen kann, daß sie, wie man es auch nennt, als Arbeitshypothese benützt werden kann. Ist dagegen das theoretisch abgeleitete Resultat mit den

Beobachtungstatsachen nicht im Einklang, so beweist dies wieder, daß in der Hypothese etwas Falsches enthalten und daß sie in ihrer bisherigen Gestalt nicht mehr haltbar ist.

Aus diesen Betrachtungen ersehen wir, daß man von einer physikalischen Hypothese nie mit absoluter Sicherheit wird sagen können, sie entspreche völlig der Wahrheit; wir wissen eben nie zum Voraus, ob nicht eine neue Erfahrungstatsache auftaucht, die uns nötigt, die alte Hypothese zu verlassen und entweder eine wesentlich anders geartete aufzustellen, oder die alte wenigstens so zu modifizieren, daß sie auch die neugefundene Tatsache umfaßt. —

Wenn am Eingang dieses Vortrags die wichtigsten physikalischen Entdeckungen des letzten Jahrhunderts skizziert wurden, und wenn dabei betont wurde, daß wesentlich neue Erfahrungstatsachen auf die physikalischen Grundanschauungen neues Licht werfen, so haben uns die letzten Betrachtungen die Art dieser Rückwirkung näher kennen gelehrt; neue Entdeckungen wirken auf die physikalischen Hypothesen entweder bestätigend oder umstürzend oder modifizierend zurück.

An Beispielen für das soeben Auseinandergesetzte ist in der historischen Entwicklung der Physik kein Mangel; besonders interessant und lehrreich sind diejenigen, welche die Entwicklung der Lehre vom Licht darbietet.

Der Begründer der Lehre vom Licht als eines systematisch angelegten Lehrgebäudes ist der berühmte Newton; in seiner 1704 erschienenen „Optica" behandelte er den bis dahin bekannten Stoff, einschließlich der von ihm selbst erstmals studierten Erscheinungen. Zur Erklärung sämtlicher optischer Beobachtungstatsachen machte er die Annahme, das Licht bestehe in sehr kleinen Körperchen, Korpuskeln, welche mit großer Geschwindigkeit von den leuchtenden Körpern geradlinig nach allen Richtungen ausgeschleudert werden. Dies ist die sog. Emissionshypothese des Lichts, auch Korpuskulartheorie genannt. Sie vermochte in mehr oder weniger befriedigender Weise die Erscheinungen der Zurückwerfung, der Brechung und der Farbenzerstreuung zu erklären; zur Erklärung der nach Newton benannten Farbenringe und der Farben dünner Plättchen mußte sie allerdings in ziemlich komplizierter Weise dadurch ergänzt werden, daß Newton die weitere Annahme machte, die Lichtteilchen erfahren periodische Anwandlungen, fits, wie er sie nannte, welche bewirken, daß die Strahlen bald leichter zurückgeworfen, bald leichter gebrochen werden.

Diese Newtonsche Emissionshypothese beherrschte nun die Optik bis zu Anfang des 19. Jahrhunderts. Zwar hatte Newtons berühmter Zeitgenosse Christian Huyghens, der Erfinder der

Pendeluhr, schon 1690 eine andere Hypothese über das Wesen des Lichtes aufgestellt und zur Erklärung der Doppelbrechung des Kalkspats angewendet; aber Newtons übermächtige Autorität ließ über ein Jahrhundert lang die Huyghensche Lehre nicht aufkommen. Es ist dies eines der auffälligsten Beispiele, wie sehr das Schwören in verba magistri den Fortschritt der Wissenschaft aufhalten kann. Huyghens ist bekanntlich der Begründer der Undulationshypothese oder Wellenlehre des Lichts, nach welcher das Licht besteht in einer Wellenbewegung eines außerordentlich feinen Stoffs, des Äthers, der das ganze Weltall erfüllen und auch im Innern der materiellen Körper zwischen den Molekeln derselben vorhanden sein soll. Dieser Äther, der für die moderne Physik die größte Bedeutung erlangt hat, ist eine durchaus hypothetische Substanz mit merkwürdigen und zum Teil beinah unglaublich scheinenden Eigenschaften. Der Name Äther ist der griechischen Mythologie entnommen; Äther war ein Sohn des Chaos und der Nacht. Am Fries des pergamenischen Altars in Berlin ist er in ganzer Figur abgebildet. Seinen Einzug in die wissenschaftliche Physik hielt er in der Wellenlehre des Lichts. Wie eine Wellenbewegung im Wasser dadurch zustande kommt, daß die Wasserteilchen der Oberfläche auf- und abschwanken und diese ihre Bewegung auf die Nachbarteilchen über-

tragen, so setzt die Wellenlehre des Lichts voraus, daß die Ätherteilchen fähig sind, in Schwankungen, in Vibrationen zu geraten, welche sehr rasch auf die Nachbarteilchen übergreifen. Diese Vibrationen gehen mit einer fabelhaften Raschheit vor sich; Lichtenberg, der berühmte Satiriker, der seines Zeichens eigentlich Professor der Physik in Göttingen war, nannte die zu Ende des 18. Jahrhunderts sehr dünn gesäten Anhänger der Huyghensschen Auffassung im Hinblik auf diese außerordentlich raschen Vibrationen spottender Weise „die Zitterer". — Wie schon erwähnt, hielt die Newtonsche Emissionshypothese stand bis zu Anfang des 19. Jahrhunderts. Im Jahr 1810 war es dann, daß der französische Artillerieoberst Malus an dem unter einem gewissen Winkel zurückgeworfenen Licht die Erscheinung entdeckte, die er als die Polarisation des Lichts bezeichnete. Hiemit war neben anderen schon bekannten Erscheinungen ein Prüfstein gegeben zur Entscheidung der Frage, welche von beiden Hypothesen vorzuziehen sei, die Newtonsche oder die Huyghenssche.[10]) Die Entscheidung fiel bekanntlich zugunsten der letzteren; die Wellenlehre in der ihr von Fresnel gegebenen endgültigen Gestalt erwies sich als in hohem Grade geeignet, nicht nur die Erscheinungen der Polarisation zu erklären, sondern auch diejenigen der Interferenz und der Beugung und die so verschiedenartigen und zum Teil kom-

plizierten Farbenerscheinungen in Kristallen. Es haben sich bis heute alle bekannten optischen Erscheinungen auf sie zurückführen lassen, und sie hat auch vermocht, gewisse Phänomene, wie die sog. konische Refraktion im Arragonit, aus der Theorie vorauszusagen.

Wenn eine Hypothese, wie dies bei der Wellenlehre zutrifft, sich fähig erweist, sämtliche zum Teil sehr komplizierten Erscheinungen eines großen Gebiets befriedigend zu erklären, so muß die Wahrscheinlichkeit, daß diese Hypothese der Wahrheit entspreche, als sehr groß erscheinen. Und doch hat die neueste Entwickelung gelehrt, daß die Hypothese noch einer Modifikation, einer Vertiefung fähig war. Wie schon am Eingang dieses Vortrags kurz erwähnt, hat in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts Heinrich Hertz den experimentellen Nachweis geliefert, daß gewisse elektrische Wirkungen mit derselben Geschwindigkeit sich durch den Raum ausbreiten, wie das Licht. Hier mußte nun die philosophische Frage nach dem Warum wieder einsetzen; daß elektrische Vorgänge mit Lichtgeschwindigkeit sich ausbreiten, das ließ sich aus den optischen Grundanschauungen nicht ableiten. Hertz zeigte aber, daß die Verwandtschaft zwischen elektrischen und optischen Vorgängen noch sehr viel weiter geht; es gelang ihm, experimentell sog. elektrische Strahlen oder Strahlen elektrischer

Kraft zu erzeugen, die genau dieselben Eigenschaften wie die Lichtstrahlen besitzen, die der Zurückwerfung, der Brechung und der Doppelbrechung, der Interferenz usw. fähig sind. Diese elektrischen Strahlen sind es bekanntlich, die in der Telegraphie ohne Draht verwendet werden. Aus dieser völligen Übereinstimmung in der Eigenschaft der elektrischen Strahlen und der Lichtstrahlen mußte nun der Schluß gezogen werden, daß beide Strahlengattungen wesensgleich sind. Sie beruhen auf demselben Grundmechanismus; beide sind Transversalschwingungen des Äthers, die sich nur durch die Wellenlänge unterscheiden. Die elektrischen Strahlen können wir experimentell erzeugen mittels einer von Hertz angegebenen Versuchsanordnung, wobei das Zustandekommen der Strahlen auf bekannte elektrische Vorgänge, Oszillationen elektrischer Ladungen, zurückzuführen ist. Die Vorgänge beim Entstehen der Lichtstrahlen können nicht direkt von uns beobachtet werden, weil es sich hier um molekulare Vorgänge handelt. Die Tatsachen nötigen zu der Auffassung, daß, wie die elektrischen Strahlen, die wir durch elektrische Vorgänge erzeugen können, unzweifelhaft eine elektrische Erscheinung sind, so auch die Lichtstrahlen, die sich mit ihnen als wesensgleich erwiesen haben, ebenfalls als eine elektrische Erscheinung angesehen werden müssen. Die Ätherschwingungen der ursprünglichen Huyghensschen

Lehre sind jetzt als elektrische Schwingungen im Äther aufzufassen, und die Erzeugung der Lichtstrahlen in den Lichtquellen hat man sich zu denken als eine Folge der Oszillation elektrischer Ladungen in der Struktur der Atome oder Molekeln. Das derzeitige Resultat des ganzen Entwickelungsgangs der optischen Grundanschauungen ist somit, daß alles Licht sich darstellt als ein elektrischer Vorgang, womit wiederum zwei bisher getrennte große Tatsachengebiete, die Erscheinungen des Lichts und der Elektrizität miteinander verschmolzen sind. Dabei haben wir es hier nicht mit einer Umstürzung der alten Huyghensschen Hypothese zu tun, sondern nur mit einer Modifikation, einer anderen Deutung der Grundvorgänge. Das Licht ist nach wie vor als eine Wellenbewegung im Äther aufzufassen; bloß sind die Kräfte, dies seine Ausbreitung bewirken, jetzt nicht mehr als elastische, sondern als elektrische zu bezeichnen.

Diese gedrängte Übersicht über den Entwickelungsgang der Optik läßt erkennen, daß in der Tat die auf diesem Gebiet gemachten Entdeckungen teils umstürzend, teils bestätigend, teils modifizierend auf die Grundanschauungen zurückgewirkt haben.

Als letztes Beispiel möge in Kürze behandelt werden eine Modifikation der atomistischen Hypothese, die durch die jüngst entdeckten Erscheinungen auf dem Gebiet der Kathodenstrahlen

und der Radioaktivität notwendig zu werden scheint. Schon seit langer Zeit sind die Physiker und die Chemiker zu der Auffassung gekommen, daß die Zusammensetzung der Materie keine kontinuierliche ist, sondern daß die Materie eine körnige Struktur besitzt, daß mit andern Worten die Teilung der Materie über eine gewisse Grenze hinaus nicht fortgesetzt werden kann. Die Grundgesetze der Chemie, wie auch zahlreiche physikalische Erscheinungen legen diese Anschauung nahe; die ganze moderne Entwickelung der Chemie ist auf ihr aufgebaut. Die kleinsten Teile der Materie, welche mit den Mitteln der Chemie nicht weiter zerlegt werden können, sind bekanntlich die Atome; aus ihnen denkt man sich die Molekeln der Körper aufgebaut in der Weise, daß in der Molekel eines chemischen Elementarstoffs im allgemeinen zwei gleichartige Atome mit einander verbunden sind, in der Molekel eines chemisch zusammengesetzten Stoffs zwei oder mehrere, im allgemeinen ungleichartige Atome. Da die Zahl der chemischen Elementarstoffe gegenwärtig über 70 beträgt, so mußte die Atomlehre in ihrer bisherigen Gestalt ebensoviele voneinander verschiedene Atomarten annehmen.

Die Voraussetzung der atomistischen Hypothese, daß das Atom die äußerste Grenze der Teilbarkeit darstelle, daß es, der Bezeichnung „Atom" entsprechend, wirklich etwas Unteilbares sei, scheint

nun nach dem neuesten Stand der Wissenschaft nicht länger haltbar zu sein. Die Wahrscheinlichkeit wird immer größer, daß das Atom selbst wieder aus noch kleineren Bausteinen zusammengesetzt ist.

Von den Tatsachen, welche für diese neue Auffassung sprechen, mögen zunächst diejenigen erwähnt werden, welche auf dem Gebiet der Kathodenstrahlen liegen.

Die prächtigen Lichterscheinungen, welche in den Geißlerschen Röhren erzeugt werden können, kommen dadurch zustande, daß das in einer solchen Röhre eingeschlossene Gas stark verdünnt wird, etwa auf $\frac{1}{1000}$ des Atmosphärendruckes, und daß man sodann einen hochgespannten Wechselstrom hindurchleitet. Wird die Verdünnung des Gases noch erheblich weitergetrieben, so erhält man, wie zuerst Hittorf in Münster gezeigt hat, Erscheinungen wesentlich anderer Art. Von der Kathode, einer der beiden Eintrittspforten des elektrischen Stroms in die Röhre, geht eine eigenartige Strahlung aus, deren Eigenschaften, außer von Hittorf, auch von dem Engländer Crookes erforscht wurden. Diese Strahlen heißen Kathodenstrahlen, die Röhren, in welchen sie erzeugt werden, nennt man gewöhnlich Crookessche Röhren. Crookes sprach schon vor einigen Jahrzehnten die Vermutung aus, daß in diesen Strahlen mate-

rielle Teilchen ausgeschleudert werden, er sprach in diesem Sinn von strahlender Materie. In neuester Zeit hat sich diese Auffassung als im wesentlichen richtig erwiesen; es ist jetzt kein Zweifel mehr, daß die Kathodenstrahlen bestehen in außerordentlich kleinen Körperchen, welche von der Oberfläche der metallenen Kathode weg mit großer Geschwindigkeit geradlinig in das Innere der Röhre hinein ausgeschleudert werden. Diese Teilchen, welche negativ elektrisch geladen sind, nennt man Elektronen. Ihre Masse ist ganz außerordentlich gering; sie ergibt sich 1—2000 mal kleiner als die Masse des Wasserstoffatoms, des leichtesten in der Reihe der chemischen Elemente. Bemerkenswert ist, daß, aus welchem Metall auch die Kathode bestehen mag, doch die von ihr ausgeschleuderten Elektronen keinen Unterschied der Substanz zeigen; wir haben sie zu betrachten als die für sich bestehenden Elementarquanten der negativen Elektrizität. Die Kathodenstrahlen sind uns aber auch insofern interessant, als in ihnen dasjenige verwirklicht ist, was Newton als das Wesen der Lichtstrahlen ansah. Wir haben gesehen, daß die Newtonsche Emissionshypothese gestürzt ist, und man war, je mehr die Wellenlehre des Lichts zur Herrschaft kam, desto geneigter, über die Newtonschen Lichtkörperchen zu lächeln; und nun zeigt sich, daß es eine Strahlung dieser Art, wie Newton sie vor-

aussetzte, doch gibt, allerdings auf einem anderen Gebiet, eben dem Gebiet der Kathodenstrahlen. Und außerdem noch auf einem Gebiet — dem der Radioaktivität. Wenn ich im folgenden die merkwürdigen Eigenschaften der radioaktiven Substanzen, speziell des Radiums, berühre, so muß ich mich dabei ganz kurz fassen und mich auf dasjenige beschränken, was mit meinem Thema in unmittelbarem Zusammenhang steht.[11]) Als Ursache des in vielfacher Hinsicht so wunderbaren Verhaltens des Radiums hat sich eine vierfache Tätigkeit dieser Substanz erkennen lassen. Das Radium sendet nämlich drei verschiedenartige Strahlengattungen aus und gibt außerdem noch ein gasförmiges Etwas ab, das man die Emanation nennt. Jene drei Strahlengattungen werden als α-Strahlen, als β- und als γ-Strahlen unterschieden. Die α- und die β-Strahlen bestehen aus ausgeschleuderten Partikelchen, die bei der ersten Strahlengattung positive, bei der zweiten negative Ladung besitzen. Die Partikelchen der α-Strahlen sind von atomistischen Dimensionen, etwa von der Größenordnung des Wasserstoffatoms; die β-Strahlen sind nichts anderes als Kathodenstrahlen, bestehen also aus ausgeschleuderten Elektronen, d. h. Teilchen mindestens 1000mal kleiner als das Wasserstoffatom. Was die γ-Strahlen betrifft, so sind diese aufzufassen als Röntgenstrahlen von sehr hohem Durchdringungsvermögen; ihrem

Wesen nach sind sie wie diese zu bezeichnen als elektromagnetische Stoßwellen, die ihren Entstehungsgrund in den Erschütterungen haben, die beim Losreißen der β-Teilchen vom Radiumatom erzeugt werden. Die Emanation endlich, das vierte Produkt des Radiums, ist ein schweres Gas, etwa zweieinhalbmal so schwer wie Luft. Es entsteht aus dem Radium und verbreitet sich langsam in seiner Umgebung; durch einen Luftstrom kann es wie ein gewöhnliches Gas zur Seite geblasen werden. Die Emanation besitzt selbst wieder radioaktive Eigenschaften, sendet insbesondere α-Strahlen aus.

Diese verschiedenartigen Wirkungen, die von dem Radium ununterbrochen ausgehen, finden ihre einfachste und ungezwungenste Erklärung in der Annahme, daß das Atom des Radiums, welchem eines der höchsten Atomgewichte zukommt, *der Zersetzung fähig ist und in kleinere und größere Bruchstücke zu zerfallen vermag.* Man hat sich den Vorgang so vorzustellen, daß dieser Zersetzung in einem bestimmten Augenblick nur ein sehr kleiner Bruchteil sämtlicher vorhandener Radiumatome unterliegt; bei diesen geht infolge innerer Umwälzungen der Zerfall explosionsartig vor sich, und von den Bruchstücken der explodierten Atome bilden die kleineren die α- und die β-Strahlung, die größeren die Emanation. Die Energie, die sich in den ausgesandten Strahlen offenbart, erreicht

ganz kolossale Beträge, die weit über die von chemischen Reaktionen bekannten Energiemengen hinausgehen[12]. Sie stammt aus einer bisher unberührten Quelle, der in der inneren Struktur des Atoms aufgehäuften, für gewöhnlich latenten Energie.

Diese Ergebnisse des Studiums der radioaktiven Substanzen schließen nun in der Tat eine wesentliche Modifikation der bisherigen Anschauung von der Konstitution der Materie in sich und eröffnen ungeahnte neue Perspektiven. Wenn die Atome der chemischen Elemente selbst wieder aus noch kleineren Bausteinen zusammengesetzt sind, dann steht schließlich auch der Umwandlung eines chemischen Elements in ein anderes prinzipiell nichts mehr im Wege. In der Tat ist es auch schon Sir William Ramsay, einem der ersten lebenden Chemiker, gelungen, die Emanation des Radiums in Helium zu verwandeln, d. h. indirekt ein chemisches Element in ein anderes überzuführen. Wir stünden damit an der Schwelle einer neuen Chemie, die fähig wäre, selbst in die Architektur der Atome einzugreifen, und deren Ziel es wäre, die Bausteine der Atome nach Willkür zu lösen und neu zu verbinden.

* * *

Hochverehrte Damen und Herren! Die vorgetragenen Beispiele, die aus verschiedenen Kapiteln der Physik entnommen waren, haben erkennen lassen, wie in den physikalischen Hypothesen und

ihren Wandlungen der Fortschritt der Wissenschaft sich wiederspiegelt, wie die Hypothesen gewissermaßen eine Quintessenz der Resultate der Forschung darstellen. Unsere Betrachtungen lehren uns zugleich, daß das Wesen der naturwissenschaftlichen Forschung Entwicklung ist, und daß es auf diesem Gebiet keinen Stillstand gibt; der unerschöpfliche Reichtum der Natur stellt immer neue Probleme. Unter solchen Umständen wäre es wenig gerechtfertigt, sich etwa einem Gefühl des Stolzes darüber hinzugeben, daß die moderne Wissenschaft es so herrlich weit gebracht; vielmehr ziemt es sich, des zur Bescheidenheit mahnenden Shakespeareschen Wortes eingedenk zu sein, das noch auf lange hinaus seine Gültigkeit behaupten wird:

„Es gibt mehr Ding' im Himmel und auf Erden,
Als eure Schulweisheit sich träumen läßt."

Anmerkungen und Literaturnachweise.

[1]) Humboldt sagt in seinem Kosmos (erschienen 1845) auf S. 57 von Bd. I: „Über die qualitative Natur der Stoffe, die in dem Weltall kreisen oder vielleicht dasselbe erfüllen, haben wir keine unmittelbare Erfahrung, es sei denn durch den Fall der Aërolithen.“ Und auf der folgenden Seite heißt es: „Diese Ausschließung von allem Wahrnehmbaren der Stoffverschiedenheit vereinfacht auf eine merkwürdige Weise die Mechanik des Himmels: sie unterwirft das ungemessene Gebiet des Weltraumes der alleinigen Herrschaft der Bewegungslehre...“

[2]) Röntgen sprach beim Hohenheimer Stiftungsfest im Jahr 1875 über „Konsonanz und Dissonanz“.

[3]) In den Gedichten unter „Sprichwörtlich“.

[4]) E. Mach, Die ökonomische Natur der physikalischen Forschung. Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. Leipzig 1896, S. 203.

[5]) Die Aufstellung von Hypothesen bildet einen wesentlichen Bestandteil des Verfahrens der Induktion oder der induktiven Methode; über seine logische Berechtigung und die Beziehungen zum Kausalitätsprinzip vgl. z. B. Sigwarts Logik, 3. Aufl., 1904, § 62 und 93. Nach Eduard v. Hartmann (Die Weltanschauung der modernen Physik, Leipzig 1902, S. 213) zerfällt die Induktion in Gesetzesinduktion und Ursacheninduktion, und demgemäß lassen sich auch die Hypothesen im eigentlichen und engeren Sinne des Wortes einteilen in Gesetzeshypothesen und Ursachenhypothesen, oder in hypothetische Gesetze und hypothetische Ursachen. Die im Text als Beispiel herangezogene Ampèresche Hypothese ist eine Ursachenhypothese.

Es ist neuerdings von verschiedenen Seiten (Ostwald u. a.) versucht worden, nur eine hypothesenfreie Physik als wissenschaftlich und exakt gelten zu lassen. Demgegenüber ist die

Unentbehrlichkeit der Hypothese für die Physik nachdrücklich zu betonen. In seinem Buch „Hypothese und Wissenschaft“ (deutsch von F. und L. Lindemann, Leipzig 1904, S. XII) tritt H. Poincaré mit folgenden Worten für die Hypothese ein: „Anstatt eine summarische Verurteilung auszusprechen, müssen wir mit Sorgfalt die Rolle der Hypothese prüfen; wir werden dann erkennen, daß sie notwendig und ihrem Inhalte nach berechtigt ist. Wir werden dann auch sehen, daß es mehrere Arten von Hypothesen gibt, daß die einen verifizierbar sind und, einmal vom Experiment bestätigt, zu fruchtbringenden Wahrheiten werden; daß die anderen, ohne uns irrezuführen, uns nützlich werden können, indem sie unsern Gedanken eine feste Stütze geben.“ Daß die ganze Physik in letzter Linie auf Hypothesen im weiteren Sinn aufgebaut ist, wird von E. v. Hartmann, l. c. S. 216 und S. 218 näher ausgeführt.

*) Der bekannte Kirchhoffsche Ausspruch, daß es die Aufgabe der Mechanik sei, „die in der Natur vor sich gehenden Bewegungen vollständig und auf die einfachste Weise zu beschreiben“, ist vielfach dahin gedeutet worden, daß die Physik überhaupt sich auf die Beschreibung der Erscheinungen beschränken und jedem Erklärungsversuch entsagen solle. (Vgl. E. Mach, Über das Prinzip der Vergleichung in der Physik, l. c. S. 251, und E. v. Hartmann, l. c. S. 211). In dieser Formulierung stünde der Ausspruch im Gegensatz zu dem im Text erwähnten Postulat unseres Strebens nach Erkenntnis, daß das Gegebene notwendig und kausal erklärbar sei. Sigwart sagt (l. c. Bd. II, S. 519) im Anschluß an die Besprechung der bloß beschreibenden Gesetze: „Zur Vollendung unserer Erkenntnis bleibt somit immer die kausale Erklärung nötig.“ Bei E. v. Hartmann (l. c. S. 136) heißt es: „Der menschliche Erkenntnistrieb wird sich das Recht niemals rauben lassen, nach den inneren Zusammenhängen und tieferen Gründen der Erscheinungen zu forschen, deren gesetzmäßige quantitative Beziehungen zueinander in den Formeln niedergelegt sind. Praktisch sind vielleicht die letzteren sehr viel wichtiger; aber aus theoretischem Gesichtspunkt die ersteren interessanter zu finden, kann man niemandem wehren. Die Wissenschaft braucht beides und hat Raum für beides, wenn auch gegenwärtig eine agnostische Zeitströmung

es für der Weisheit letzten Schluß ausgibt, sich bei innerlich unverstandenen Formeln bescheiden zu lernen." Vgl. auch O. Wiener, Die Erweiterung unserer Sinne, Leipzig 1900, S. 43, und E. Riecke, Die Prinzipien der Physik und der Kreis ihrer Anwendung, Göttingen 1897, S. 28.

[7]) Bei genauerem Zusehen erkennt man leicht, daß auch das Mariotte-Gaylussacsche Gesetz ursprünglich bei seiner Aufstellung als eine Hypothese zu betrachten war. Es wurde durch Gesetzesinduktion gefunden und stellte sich zunächst als Gesetzeshypothese dar. H. v. Helmholtz spricht in diesem Sinn von der „Hypothese als Vorstufe des Gesetzes" (Vorlesungen über theoretische Physik, Bd. I, 1. Abt., S. 16, 1903). Nachdem eine ausreichende Verifikation des Mariotte-Gaylussacschen Gesetzes erreicht war, trat der hypothetische Charakter zurück, und nun setzte das Kausalitätsbedürfnis ein, um durch Ursacheninduktion eine weiter zurückliegende Ursachenhypothese zu finden. Diese wurde gewonnen in den Grundvorstellungen der kinetischen Gastheorie.

Ein weiteres naheliegendes Beispiel der in Rede stehenden Verhältnisse bieten die Keplerschen Gesetze und das Newtonsche Gravitationsgesetz dar. Nachdem Tycho durch seine astronomischen Beobachtungen einzelne Örter des Planeten Mars festgelegt hatte, fand Kepler durch Gesetzesinduktion, daß diese Örter einer Ellipse angehören. Damit war das beschreibende Gesetz gefunden. Durch Ursacheninduktion wurde dann Newton zur Aufstellung seines Gravitationsgesetzes geführt. Dieses stellt einen beherrschenden Ausgangspunkt für ein ungeheures Tatsachengebiet dar; die großartige Einfachheit des Gesetzes wirkt befreiend gegenüber der Mannigfaltigkeit der Einzelbewegungen im Planetensystem und der Kompliziertheit der Störungserscheinungen. Ob dieser Abschluß, den das Newtonsche Gesetz darbietet, ein definitiver ist? Ich glaube es nicht. Nachdem es gelungen ist, für die elektrischen und magnetischen „Fernkräfte" eine zeitliche Ausbreitung nachzuweisen, wird der Forschungstrieb nicht ruhen, bis dasselbe für die Gravitation erreicht ist. Dann wird es möglich sein, irgend einen Mechanismus zu supponieren, der das Newtonsche Gravitationsgesetz als notwendige Folge ergibt und als letzte Ursachen-

hypothese für das ganze Gebiet der Gravitation sich darstellt. Dieser Mechanismus wird mindestens ebenso kompliziert sein, wie diejenigen, welche der kinetischen Theorie der Wärme oder der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen zugrunde liegen.

Poincaré sagt im Anschluß an ähnliche Betrachtungen (l. c. S. 150): „Wenn unsere Forschungsmittel immer schärfer werden, so werden wir ohne Zweifel das Einfache unter dem Komplizierten, dann das Komplizierte unter dem Einfachen entdecken, dann wieder von neuem das Einfache unter dem Komplizierten und so fort, ohne daß wir voraussehen können, womit diese Kette schließen wird. — Man muß irgendwo aufhören, und damit die Wissenschaft möglich sei, muß man aufhören, wenn man die Einfachheit gefunden hat."

Der letzteren Auffassung kann ich mich nicht anschließen. Man darf erst aufhören, wenn man den letzten erkennbaren natürlichen Ursachen möglichst nahe gekommen ist; diese sind jedoch kompliziert, weil die Natur in ihren Grundmechanismen kompliziert ist. Das beweisen auch wieder die neuesten Entdeckungen über den zusammengesetzten Bau des Atoms.

[8]) Physikalische Zeitschrift I, S. 182, 1900.

[9]) Vgl. Boltzmann, l. c., S. 171, und die hübsche, gemeinverständliche Darstellung von G. Mie: „Moleküle, Atome, Weltäther", Leipzig 1904, S. 131.

[10]) Die Erklärung der Polarisation mittels der Anschauungen der Wellenlehre gelang übrigens nicht sofort; Malus selbst glaubte in der neuentdeckten Erscheinung eine Bestätigung der Emissionshypothese vor sich zu haben (vgl. z. B. Poggendorf, Geschichte der Physik, S. 690). Erst Fresnel war es vorbehalten, den Nachweis zu liefern, daß auf dem Boden der Wellenlehre eine vollständige Erklärung der Polarisationserscheinungen möglich ist, vorausgesetzt, daß die Schwingungen des Äthers als transversale aufgefaßt werden. Huyghens selbst hatte die Ätherschwingungen noch als longitudinale vorausgesetzt, ausgehend von der naheliegenden Analogie mit den Schallwellen. Zur Erklärung der Erscheinungen der Zurückwerfung, der Brechung, der Interferenz und der Doppelbrechung, ausschließlich der Polarisationserscheinungen genügte auch in der Tat die Annahme

longitudinaler Wellen. Der Übergang zu Transversalwellen bedeutete eine wichtige Modifikation der ursprünglichen Huyghensschen Anschauung.

Ein wirkliches experimentum crucis, das für die Wellenlehre und gegen die Emissionshypothese entscheidet, ist die Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts einerseits in der Luft, andererseits im Wasser. Die Wellenlehre verlangt, daß erstere Geschwindigkeit die größere ist, nach der Emissionshypothese müßte sie die kleinere sein. Der Versuch ergibt, daß die Lichtgeschwindigkeit in der Luft 1,33 mal größer ist als im Wasser. (Vgl. A. Cornu, Die Theorie der Lichtwellen und ihr Einfluß auf die moderne Physik, Abdruck in Phys. Zeitschr. I, S. 381, 1900, und P. Drude, Lehrbuch der Optik, S. 113, 1900).

Newton selbst hat übrigens zwischen der Emissions- und der Undulationshypothese lange geschwankt und die Vorzüge der letzteren nach einzelnen Richtungen nicht verkannt (s. Poggendorf, l. c., S. 689, und Cornu, l. c., S. 381). Daß er sich schließlich für die Emissionshypothese entschied, beruhte auf den großen Schwierigkeiten, die der Erklärung der geradlinigen Ausbreitung des Lichts und der Schattenbildung auf dem Boden der Wellenlehre sich entgegenstellen. Es war wiederum Fresnel, der diese Schwierigkeiten endgültig beseitigte. Cornu sagt (l. c., S. 382) von diesem Fresnelschen Eingreifen: „So wurde der schreckliche Einwand vernichtet, der den Geist des großen Newton so sehr gequält hatte."

[11]) Eine hübsche zusammenhängende Übersicht über die Erscheinungen der Radioaktivität bietet z. B. die Schrift von F. Soddy: „Die Radioaktivität, vom Standpunkte der Desaggregationstheorie elementar dargestellt", deutsch von G. Siebert, Leipzig 1904.

[12]) Nach Soddy (l. c., S. 177) beträgt die gesamte Energie, welche beim vollständigen Zerfallen von 1 Gramm Radium entwickelt wird, ungefähr 10^9 Kalorien, während die bei der Bildung von 1 Gramm Wasser aus seinen Elementen entwickelte Energie annähernd nur 4×10^3 ist. Daraus geht hervor, daß beim Zerfallen der Radiumatome ungefähr 250 000 mal so viel Energie erzeugt wird, als bei irgend einer bekannten chemischen Umwandlung.

